نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۲۹۵-۲۷۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 279-295

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی اثر تلقیح باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کنجد

سید فاضل فاضلی کاخکی[1]*، مهرنوش اسکندری[2]، جهانفر دانشیان[3]، صدیقه آناهید[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کودهای زیستی بر زادآوری تعداد گره و کپسول در هر گره برگ کنجد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. فاکتور اول شامل دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول و فاکتور دوم کودهای زیستی شامل: نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.)، بیوفسفر (حاوی باکتری‌های *Pseudomonas* sp. و *Bacillus* sp.)، ترکیب مساوی از هر دو نوع کود زیستی (نیتروکسین و بیوفسفر) و شاهد بود. صفات مورفولوژیکی شامل: ارتفاع، تعداد گره در گیاه، تعداد گره تک و چند کپسول، تعداد و طول شاخه جانبی، تعداد و وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه در گیاه، تعداد کپسول در گیاه و عملکرد اندازه‌گیری شد. طبق نتایج، بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۹ سانتی‌متر) و تعداد گره (۴۶/۷ عدد) از تیمار کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر به‌دست آمد. بوته‌های حاصل از بذر چند کپسول حدود ۲۹ درصد تعداد برگ بیشتری را تولید کردند. بیشترین تعداد گره چند کپسول در سال دوم از بذور چند کپسولی و استفاده از کودهای تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و به مقدار ۲۳/۹ عدد حاصل شد. در بذر چند کپسول تعداد گره چند کپسولی حدود ۱۵ درصد بیشتر از تعداد گره چند کپسولی در بذر تک کپسول بود. در هر دو سال بیشترین تعداد گره تک کپسول در استفاده از کود زیستی تلفیقی در بذر تک کپسول به‌دست آمد. بیشترین تعداد گره چند کپسول در سال دوم از بذور چند کپسولی و استفاده از کودهای تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و به تعداد ۲۳/۹ عدد حاصل شد. به‌طور کلی برای افزایش تعداد کپسول در هر گره برگ استفاده از تلقیح بذر کنجد با باکتری‌های (PGPR) به همراه محلول‌پاشی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی گیاه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بیوفسفر، تعداد گره برگ، زیست‌توده، عملکرد دانه، نیتروکسین

مقدمه

باکتری‌های خاک نقش مهمی در چرخه‌های زیست-زمین-شیمیایی دارند که باعث پویایی اکوسیستم خاک در جهت بازگشت مواد غذایی در چرخه‌های حیاتی می‌شوند (Kumar Jha and Saraf, 2015). این موجودات می‌توانند به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی و یا در برخی موارد جایگزین آن‌ها به‌منظور حفظ پایداری اکوسیستم زراعی عمل نمایند که در دهه‌های اخیر برای تولید محصول بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از طرفی تولید ارقام پر محصول، سبب افزایش مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کودهای شیمیایی شده است که بحران آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به دنبال داشته است (Alami-Milani *et al*., 2014). نیتروژن یکی از عناصر غذایی پر مصرف در تولید محصولات زراعی است که مصرف زیاد آن سبب آلودگی در چرخه طبیعی آب شده، ضمن آن‌که راندمان مصرف پایین و هزینه تولید بسیار بالایی نیز دارد (Makvandi *et al*., 2015). استفاده بیش از حد فسفر در خاک‌ها سبب تجمع آن‌ها در لایه سطحی خاک شده که کاهش عملکرد ناشی از نسبت بالای فسفر به روی و یا آهن، تجمع بور، مولیبدن و کادمیوم در بافت گیاهی، مسمومیت فسفری گیاه و کاهش پروتئین دانه و کاهش بازارپسندی محصولات کشاورزی را به دنبال داشته است (Malakoti *et al*., 2001). در حال حاضر استفاده از کودهای بیولوژیک به‌عنوان گزینه جایگزین برای کودهای شیمیایی، به‌منظور افزایش باروری خاک در تولید پایدار محصولات زراعی و باغی بسیار پراهمیت گردیده است. کودهای بیولوژیک ریزجانداران مفید خاک‌زی بوده که توانایی تجزیه سریع بازمانده‌های گیاهی در جهت تبدیل عناصر غذایی از فرم غیر قابل جذب به فرم قابل جذب و بهبود باروری خاک را دارند. باکتری‌ها

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۲- محقق بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۳- استاد پژوهشی بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- کارشناس فیزیولوژی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: sf_fazeli@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i3.85275

از جمله ریزجانداران خاک هستند که در چرخه عناصر غذایی خاک دخالت داشته و می‌توانند رشد گیاه را بهبود بخشیده و به نام باکتری‌های افزاینده رشد (PGPR) شناخته شده‌اند. به‌طورکلی، تقریباً دو تا پنج درصد باکتری‌های محیط ریشه در گروه باکترهای افزاینده رشد قرار دارند (Antoun and Prevost, 2005). این باکتری‌ها از طرق مختلفی از جمله تثبیت نیتروژن، سنتز و تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید هورمون‌های گیاهی، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشند (Saleh Rastin, 2001). در این ارتباط، نقش باکتری‌های آزادزی و هوازی در خاک همانند *ازتوباکتر*[1]، *آزوسپیریلوم*[2]، باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*باسیلوس‌ها و پسمودوناس‌ها*) در زراعت گیاهان روغنی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. خاک دامنه وسیعی از منابع فسفات آلی دارد که می‌بایستی به‌وسیله آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز، فیتاز و فسفونواستات تبدیل به فرم معدنی قابل جذب آن شود و باکتری‌ها در گروه‌های *باسیلوس*ها و *پسمودوناس* از طریق تولید اسیدهای آفسفاتازها می‌توانند با انحلال فسفات‌ها به جذب آن‌ها کمک نمایند (Chen *et al*., 2006). *ازتوباکتر*ها و *آزوسپیریلوم*ها دارای توانایی تثبیت زیستی ازت می‌باشند، این باکتری‌ها از طریق ترشح مواد بیولوژیکی مانند اسید نیکوتینیک، بیوتین، ویتامین‌های گروه B، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و غیره زمینه افزایش رشد گیاهان را فراهم می‌آورند (Naghdi Badi *et al*., 2013). نتایج مطالعه جهان و همکاران (Jahan *et al*., 2012) نشان داد زمانی‌که از کود زیستی بیوفسفر در کنجد استفاده شد کارایی مصرف کود نسبت به تیمار عدم مصرف بیوفسفر ۴۶ درصد بیشتر بود. مطالعه حسن پور و همکاران (Hasanpour *et al*., 2011) تایید نمود که استفاده از کود نیتروژن به همراه کود سوپر نیتروپلاس سبب افزایش درصد گل‌های بارور و تعداد کپسول در گیاه کنجد رقم ورامین شد. همچنین در این مطالعه کاربرد کود بیولوژیکی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد کنجد داشت؛ به‌طوری‌که در مقایسه با شاهد، کاربرد کود بیولوژیک سبب افزایش ده درصدی عملکرد شد. درخصوص تاثیر کودهای زیستی بر اجزای عملکرد کنجد نتایج (Sajadi Nick *et al*., 2011) نشان داد که استفاده از کود زیستی نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار تعداد بذر در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کنجد شد. نتایج بررسی‌ها در تولید کنجد نشان داد که استفاده از باکتری *آزوسپیریلیوم* به همراه ۵۰٪ مقدار توصیه شده کود شیمیایی نیتروژنه، عملکرد دانه قابل قبولی را به‌همراه داشت (Paul and Savithri, 2003) و اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰٪ نیتروژن توصیه شده نشان نداد. در هندوستان جاشانکار و وهاب (Jashankar and Wahab, 2004) با ترکیب NPK معمول منطقه با ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه *آزوسپیریلیوم*، بیشترین افزایش را در خصوصیات رشدی و عملکرد کنجد مشاهده کردند.

کنجد (*Sesamum indicum* L.) از قدیمی‌ترین گیاهان روغنی و به‌عنوان ملکه گیاهان روغنی نامیده شده است. این گیاه سازگار نواحی خشک و نیمه‌خشک است. ارقام مختلف آن در شرایط آب و هوایی متفاوت کشت می‌شوند. بالا بودن درصد پروتئین (۱۹ تا ۲۵ درصد)، روغن (تا ۴۵ درصد) و فراوانی بالای اسیدهای چرب غیر اشباع به‌ویژه اسیدلینولئیک از جمله مواردی است که سبب افزایش کیفیت تغذیه‌ای روغن کنجد شده است (Babaei Abarghoei, 2004). با وجود آن‌که پتانسیل عملکرد کنجد بیش از ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، میانگین عملکرد این گیاه در ایران حدود ۹۰۱ کیلوگرم در هکتار تعیین شده است (FAO, 2017). پایین بودن عملکرد کنجد در واحد سطح، ضرورت انجام عملیات به‌زراعی و به‌نژادی بر اساس شرایط محیطی هر منطقه را مورد تاکید قرار می‌دهد. تعداد کپسول از اجزای اصلی عملکرد بوده و با آن همبستگی زیادی دارد. تحقیقات اندکی درخصوص بررسی عوامل موثر بر افزایش تولید در تعداد کپسول در هر گره برگ کنجد صورت گرفته است. صفت چند کپسولی توسط یک ژن منفرد کنترل می‌شود و آلل‌های تولید سه کپسولی مغلوب هستند و تحت تاثیر محیط قرار دارد. با این حال نتایج مطالعه لانگهام (Langham, 2007) نشان داد که ارقامی که توانایی تولید کپسول بیشتر در هر گره برگ را دارند اگر در شرایط آبیاری و تغذیه مناسب قرار گیرند توان تولید سه کپسول در هر گره برگ را دارند. در مطالعه دیگری محققین اظهار داشتند که گره‌های ابتدایی و انتهایی در کنجد نیز در صورت مهیا بودن شرایط از جمله تغذیه مناسب توانایی تولید بیش از یک کپسول را در هر گره برگ را دارند (Kang *et al*., 1985).

اگرچه پژوهش‌های نسبتاً متعددی در ارتباط با تاثیر کودهای شیمیایی بر تغذیه کنجد انجام شده است، لیکن اطلاعات در مورد امکان افزایش تعداد کپسول در هر گره برگ کنجد تحت تاثیر تغذیه با کودهای زیستی بسیار محدود می‌باشد. لذا این مطالعه با هدف بررسی تاثیر کود زیستی نیتروکسین، بیوفسفر بر صفات مورفولوژیکی، تعداد کپسول در هر گره برگ و عملکرد در شرایط مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی بر تولید گره و تعداد کپسول گیاه کنجد، آزمایشی در طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل: نوع بذر تک کپسولی (S_1) و بذر چند کپسولی (S_2) و فاکتور دوم شامل استفاده از کودهای زیستی

1- *Azotobacter* sp.
2- *Azospirillum* sp.

نیتروکسین، بیوفسفر، ترکیب نیتروکسین ۵۰٪+ بیوفسفور۵۰٪ و شاهد بدون اضافه کردن هیچ کودی بود. زمین آزمایش در سال قبل آیش بود. عملیات خاک‌ورزی اولیه انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف نیم متری و به طول پنج متر بود. قبل و بعد از اجرای آزمایش‌ها، نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری، انجام و جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه خاک و آب ارسال گردید (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک مزرعه قبل از آزمایش در سال اول

Table 1- Results of field soil testing prior to first year experiment

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil texture	EC	pH	O.C	T.N.V	SP	NT	P_{ave}	K_{ave}
٪	٪	٪	–	dS.m^{-1}	–	٪	٪	٪	٪	ppm	ppm
31	49	20	Loam	1.08	7.6	0.61	15.5	36.4	0.067	12.8	227

بذر مورد نیاز طی سه سال متوالی تهیه شد؛ به این صورت که ابتدا بذر ۱۳ اکوتیپ کنجد (جدول ۳) از بخش دانه‌های روغنی سازمان جهاد کشاورزی خراسان در سال ۱۳۸۸ تهیه و در آزمایش مقدماتی ارزیابی عملکرد مورد بررسی قرار گرفت (Nezami *et al.*, 2014). در همان سال بوته‌هایی که تولید سه کپسول در هر محور برگ کردند انتخاب و بذرگیری به تفکیک از گره‌های سه کپسولی و از گره‌های تک‌کپسولی جداگانه انجام شد. این دو نوع بذر تهیه شده به‌عنوان فاکتور اول در آزمایش در نظر گرفته شد. بذور مذکور با سم قارچ‌کش ویتاواکس با غلظت یک در هزار ضدعفونی و سپس در تاریخ ۳۰ اردیبهشت ماه در هر دو سال کشت شدند. فاصله بین ردیف، ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. میانگین دما و بارندگی روزانه شهر مشهد در شکل ۱ آمده است. در زمان کاشت از مقدار زیادی بذر استفاده شد تا پس از استقرار گیاهچه‌ها و در مرحله شش برگی و در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر عملیات تنک انجام و فاصله بوته‌ها در روی هر ردیف هفت سانتی‌متر تعیین گردد. هم‌زمان با تنک کردن بوته‌ها، عملیات مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز نیز صورت پذیرفت. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه کنجد و دمای هوای منطقه هر هفت روز یکبار انجام شد. کودهای زیستی شامل ۱) نیتروکسین (*ازتوباکتر* (*Azotobacter* sp.)، *آزوسپیریلوم* (*Azospirillum* sp.))، ۲) بیوفسفر (PSB) (حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات جنس *باسیلیوس‌ها* و *سودوموناس*)، ۳) ترکیب کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر (به نسبت مساوی) و ۴) شاهد (بدون اضافه کردن هیچ نوع کود) بودند.

قابل ذکر است که بسته‌بندی تجاری هریک از کودهای عنوان شده به‌صورت مایع و در بطری‌های یک لیتری بود و از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه شد[1] که در هر میلی‌لیتر آن $۱۰^{۷}$ عدد باکتری زنده و فعال وجود داشت.

جدول ۲- نتایج آزمایش خاک مزرعه بعد از اجرای آزمایش در انتهای سال دوم

Table 2- Results of field soil testing at the end of the second year experiment

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC	pH	کربن آلی O.C[2]	درصد مواد خنثی شونده T.N.V[3]	درصد اشباع خاک SP[4]	نیتروژن کل NT[5]	فسفر قابل تبادل P_{ave}[6]	پتاسیم قابل تبادل K_{ave}[7]
٪	٪	٪	–	dS.m^{-1}	–	٪	٪	٪	٪	ppm	ppm
30	48	18	Loam	0.92	7.9	0.44	17.9	31.3	0.039	3.6	140

1- www.mabco.asia, Email: Info@mabco.asi
2- Organic Carbon
3- Total Neutralizing Value (TNV) is Percentage of neutralizing agents obtained from equivalent of calcium carbonate (lime)
4- Saturation Percent
5- Total Nitrogen
6- Available Phosphorous
7- Available Potassium

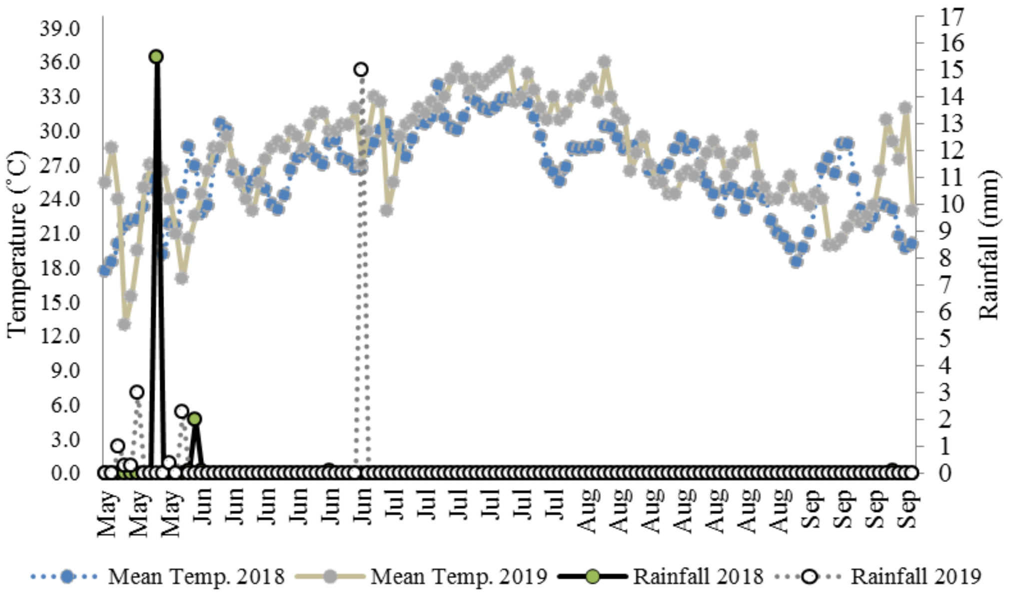
بذور، قبل از کاشت به تیمارهای ذکر شده آغشته شد. تلقیح بذور با کودهای بیولوژیک به روش استاندارد (Kennedy *et al*., 1994) به دور از نور مستقیم و نیز رعایت توصیه‌های شرکت تولیدکننده، هم‌زمان با کاشت انجام شد و نیز در مرحله ۵۰ درصد زایشی محلول‌پاشی با غلظت پنج لیتر در هکتار با همین کودها انجام گرفت. در سال دوم نیز اجرای آزمایش به همین ترتیب تکرار شد. در هر دو سال پس از رسیدگی محصول از هر کرت آزمایشی تعداد پنج بوته پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انتخاب و صفات مورفولوژیکی (ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، تعداد گره در ساقه اصلی، تعداد گره چندکپسولی، تعداد گره تک کپسولی، وزن خشک اندام هوایی) و عملکرد از سطح چهار متر مربع اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین وزن خشک اندام هوایی از آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTAT C آنالیز و تجزیه مرکب انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۳- اکوتیپ‌های کنجد مورد بررسی در شرایط مشهد، ۱۳۸۸

Table 3- Evaluation Sesame ecotype in Mashhad condition

اکوتیپ	منشاء	اکوتیپ	منشاء	اکوتیپ	منشاء
MSC1*	گناباد ۱ (قوژد)	MSC6	فردوس (سه قلعه)	MSC11	اسفراین
MSC2	گناباد ۲ (قوژد)	MSC7	بشرویه	MSC12	کلات
MSC3	سبزوار۱ (داورزن)	MSC8	خواف بخش بالا خواف	MSC13	خلیل آباد
MSC4	سبزوار۲ (داورزن)	MSC9	خواف (روستای چهارده)	MSC14	کاشمر
MSC5	درگز	MSC10	رشتخوار		

*Mashhad Sesame Collection



شکل ۱- میانگین درجه حرارت روزانه و بارندگی روزانه طی دوره کاشت تا رسیدگی گیاه کنجد طی دو سال زراعی (۹۷-۹٦ و ۹۸-۹۷) در مشهد (IRIMO, 2019)

Figure 1- Mean daily temperature and daily rainfall during of planting to ripening periods in sesame plant during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع گیاه تحت تاثیر تمامی تیمارهای آزمایش به‌استثنای نوع بذر معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۷/۸ سانتی‌متر) در سال دوم حاصل شد که نسبت به سال اول حدود ۲۷ درصد افزایش داشت (جدول ۵). در سال دوم بیشترین ارتفاع بوته از بذر تک کپسول (۱۱۹ سانتی‌متر) حاصل شد که نسبت به بذر چند کپسولی در همین سال تنها ۴ سانتی‌متر ارتفاع بیشتری داشت و از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۷).

جدول ٤- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات رویشی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 4- Analysis of variation (means of squares) vegetative criteria and seed yield in sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

منابع تغییر SOV	درجه آزادی d.f	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول Number of one capsules node	تعداد گره چند کپسول Number of multiple capsules node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight	زیست‌توده Biomass	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield
سال Year(Y)	1	12611**	39.6**	9313**	383**	30.6**	714**	33.0ns	3.45ns	4957376**	353**	1920**
Block بلوک	2	14.8 ns	26.9*	19.8ns	4.18ns	0.283**	41.9*	46.6ns	2.22ns	1333ns	19.0ns	363ns
نوع بذر Seed type (S)	1	6.47 ns	6697**	404*	53.7**	1.21*	3533**	2792**	132**	31224**	347**	138761*
نوع بذر × سال Y×S	1	30.6 **	442*	1593**	232*	0.845*	131*	391**	22.4*	1098ns	538**	6591**
کود زیستی Bio. Ferti. (BF)	3	981**	191**	449**	46.6**	2.28**	820**	288**	5.01ns	38610**	443**	60.7ns
کود زیستی × سال Y×BF	3	188**	189**	141*	26.1**	1.37**	70.0*	61.1**	17.5**	7281ns	162**	23052**
نوع بذر × کود زیستی S×BF	3	186**	107*	168**	225**	1.02**	52.3**	264**	6.23*	29693**	1314*	3344**
سال × نوع بذر × کود زیستی Y×S×BF	3	64.6**	57.6**	120**	43.0**	0.981*	196**	309*	5.46**	9909*	152*	6794**
Error خطا	30	9.33	5.15	7.8	4.5	0.019	3.71	13.7	1.33	3281	17.4	92.9
ضریب تغییرات CV (٪)	-	9.5	17.4	12.4	15.6	14.3	19.1	18.4	17.3	21.4	16.4	20.8

ns، ** و *: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant in 1 and 5 probability levels respectively.

کاربرد کودهای زیستی سبب افزایش ارتفاع بوته به مقدار ۱۱ تا ۱۹/۹ سانتی‌متر نسبت به تیمار عدم مصرف کود (۸۹/۱ سانتی‌متر) شد و بیشترین مقدار ارتفاع از تیمار کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر (۱۰۹ سانتی‌متر) حاصل شد (جدول ۸). نتایج برهمکنش سال در نوع کود نشان داد که در سال دوم تمامی تیمارهای کود زیستی ارتفاع بوته بیشتر از ۱۱۹ سانتی‌متر داشتند که بیشترین آن در نوع کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر (۱۲۲ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۹). نتایج جدول ۱۰ نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته از اعمال کود ترکیبی در بذر تک کپسول (۱۱۶ سانتی‌متر) و کمترین مقدار ارتفاع بوته از شاهد و بذر تک کپسول با مقدار ۸۷/۷ سانتی‌متر حاصل شد. دامنه تغییرات ارتفاع بوته در برهمکنش سه‌گانه تیمارها (سال× نوع بذر×کود زیستی) بین ۶۷/۹ در تیمار شاهد، بذر تک کپسول و در سال اول و ۱۳۲ سانتی‌متر در تیمار بذر تک کپسول، کود ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر و در سال دوم حاصل شد (جدول ۱۱). این نتایج با نتایج مالیک و همکاران (Malik *et al*., 2003) در کنجد مطابقت داشت. به نظر می‌رسد که جمعیت زیاد ریزموجودات آزادزی در کودهای زیستی نیتروکسین (*ازتوباکتر*) در تثبیت بیولوژیکی ازت نقش دارند، از طرفی دیگر باکتری‌های موجود در کود بیوفسفر (*باسیلوس و پسودوموناس*) به‌طور موثری ترکیبات پیچیده و غیر قابل دسترس فسفات را به شکل یون‌های محلول قابل دسترس در اختیار گیاه قرار می‌دهند. معدنی شدن ترکیبات فسفاتی در محیط رایزوسفر همگام با ترشحات ریشه در حضور باکتری‌های همانند *پسودوموناس، باسیلوس* افزایش یافته لذا در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی سبب فعال شدن مکان‌های رشد و افزایش ارتفاع گیاه شده است (Kumar Jha and Saraf, 2015). اثر افزایشی تیمارهای به‌کار برده شده بر ارتفاع بوته را مشابه با سایر محققان (Mahmoud Zadeh *et al*., 2015) می‌توان به‌طور غیرمستقیم به تولید هورمون‌های گیاهی همانند اکسین و جیبرلین توسط باکتری‌ها و نیز تأمین بهینه عناصر غذایی همانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و بور (El-Yazeid *et al*., 2007) تعمیم داد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 5- Means comparisons of year effect on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass (g.m^{-2})	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m^{-2})
Y1	85.4 b	28.4 b	13.3 b	15.1 a	2.10 a	18.7 a	45.8 a	5.38 a	714 b	48.8 b	316 b
Y2	117.8 a	50.5 a	41.1 a	9.40 b	0.492 b	11.1 b	44.1 a	5.84 a	858 a	51.1 a	329a

Y1: firth year and Y2: second year

Y1: سال اول؛ Y2: سال دوم

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر نوع بذر بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹٦ و ۹۸-۹۷)

Table 6- Means comparisons of seed type effect on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass (g.m^{-2})	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m^{-2})
بذر تک کپسول S1	102 a	41.2 a	30.1 a	11.1 b	1.13 b	6.32 b	37.3 b	3.45 b	511 b	47.3 b	269 b
بذر چند کپسول S2	100 a	37.5 b	24.3 b	13.2 a	1.45 a	23.5 a	52.6 a	6.77 a	562 a	52.7 a	376 a

S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed.

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند

Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test (p≤0.05)

تعداد گره در بوته

تمامی عوامل آزمایشی بر تعداد گره در بوته تاثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۴). در سال دوم حدوداً ۴۳ درصد تعداد گره بیشتر از سال اول در بوته تولید شد (جدول ۵). تعداد گره در گیاه حاصل از بذر تک کپسولی حدوداً ۱۹ درصد بیشتر از تعداد گره حاصل از بذر چند کپسولی بود. تعداد گره در بوته حاصل از بذر چند کپسول ۳۷/۵ عدد بود (جدول ۶). نتایج حاصل از برهمکنش تیمار نوع بذر در سال نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد گره در گیاه به‌ترتیب از بذر تک کپسول در سال دوم (۶۲/۴) و از بذر تک کپسول در سال اول به‌دست آمد (جدول ۷). استفاده از کود ترکیبی نسبت به شاهد ۳۲ درصد تعداد گره بیشتری را در بوته تولید کرد (جدول ۸). استفاده از کود ترکیبی در سال دوم بیشترین تعداد گره را داشت که نسبت به شاهد در سال دوم حدود ۲۷ درصد تعداد گره بیشتری داشت. در سال اول تعداد گره در تمام تیمارهای کود زیستی کمتر از سال دوم بود (جدول ۹). استفاده از تیمار تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در بذر تک کپسولی بیشترین تعداد گره (۶۵/۲ عدد) را در بوته تولید کرد و کمترین مقدار آن درگیاهان حاصل از بذر چند کپسول و شاهد به‌دست آمد (جدول ۱۰). برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که استفاده از کود تلفیقی در بذر تک کپسول و سال دوم بیشترین تعداد گره (۸۵/۷) را داشت و کمترین مقدار آن در گیاهان حاصل از بذر تک کپسول، سال اول و در شاهد (۱۵/۸) مشاهده شد. با این حال در سال اول نسبت به سال دوم در تمامی تیمارها تعداد گره کمتری در بوته به‌دست آمد. دامنه تعداد گره در بوته در سال دوم بین ۳۴/۷ تا ۸۵/۷ بود (جدول ۱۱). افزایش تعداد گره به افزایش ارتفاع گیاه منجر می‌شود (Weiss, 2000)، در این بررسی نیز مقایسه نتایج ارتفاع با تعداد گره در گیاه هم‌خوانی داشت. در همین راستا نتایج مطالعه بیژنی و همکاران (Bijani *et al*., 2015) در کنجد نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه از تلقیح بذور کنجد با ۷۵ کیلوگرم کود شیمیایی به‌دست آمد که نسبت به همین سطح کود شیمیایی و عدم تلقیح بذر کنجد اختلاف معنی‌داری داشت. به‌نظر می‌رسد تثبیت نیتروزن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن و سایر عناصر ریز مغذی دیگر در اثر فعالیت باکتری‌های محرک رشد همانند *ازتوباکتر، آزوسپیریلیوم، باسیلوس*‌ها و *سودوموناس*‌ها در محیط ریشه؛ شرایط را برای جذب بهتر عناصر غذایی فراهم نموده و با فعال شدن مکان‌های مریستمی باعث افزایش ارتفاع و تعداد گره در گیاه گردیده است. کاهش در مقادیر نیتروژن و فسفر خاک طی دو سال اجرای آزمایش (جداول ۱ و ۲) نشان‌دهنده فراهمی و برداشت بیشتر این عناصر از خاک توسط گیاه، به‌دلیل آزادسازی بیشتر این عناصر از خاک در نتیجه افزایش جمعیت ریزجانداران مفید خاک‌زی ناشی از مصرف کودهای زیستی بود؛ که خصوصاً در سال دوم با افزایش در ارتفاع و تعداد گره در گیاه مشاهده گردید. لذا افزایش تعداد گره از طریق تاثیر بر تعداد کپسول در بوته که خود یکی از اجزای اصلی عملکرد کنجد می‌باشد سبب افزایش عملکرد کنجد شده است که با اهداف این بررسی مطابقت داشت. علت همبستگی تعداد گره با سایر صفات مورد اندازه‌گیری از جمله ارتفاع، را می‌توان این‌گونه عنوان نمود که تعداد گره در کنجد اولاً تولیدکننده یک جفت برگ در دو طرف ساقه است، دوماً در صورتی‌که شرایط مهیا باشد امکان دارد کپسول تولید نشده و تولید یک شاخه جانبی کند که این شاخه جانبی خود توانایی تولید گره، برگ و کپسول را خواهد داشت، ثانیاً اگر این گره شاخه جانبی تولید نکرد تولید کپسول خواهد کرد که خود از اجزای عملکرد کنجد می‌باشد. در حقیقت با ظهور هر گره می‌تواند حداقل یک جفت کپسول ظاهر شود و اگر وضعیت تغذیه‌ای مساعد باشد نیز می‌تواند شاخه جانبی از این گره‌ها تولید شود (Langham, 2007).

تعداد گره تک کپسول و چند کپسول

ظهور کپسول در گره هر برگ به‌طور مستقیم وابسته به ژنتیک گیاه و به‌طورغیر مستقیم وابسته به مدیریت مناسب زراعی همانند تغذیه گیاه است (Langham, 2007). این دو صفت تحت تاثیر تمامی تیمارهای آزمایشی معنی‌دار شدند (جدول ۴). بیشترین تعداد گره تک کپسول با مقادیر ۴۱/۱ در سال دوم و بیشترین تعداد گره چند کپسول در سال اول با مقدار ۱۵/۱ عدد به‌دست آمد (جدول ۵). با افزایش ارتفاع در یک سوم بالایی گیاه فاصله گره‌ها کمتر شده و همین گره‌ها خود حاوی تک کپسول شده‌اند (Weiss, 2000). در حقیقت افزایش ارتفاع سبب افزایش تعداد گره تک کپسول شد و تعداد گره چند کپسولی کمتری را تولید کرد. به نظر می‌رسد شاید علت کاهش تعداد گره چند کپسول در کاهش مقدار آسیمیلات لازمه تولیدی توسط برگ‌های کمتر توسعه‌یافته برای صرف انرژی بیشتر گیاه در تولید گره‌های چند کپسولی به جای افزایش در ارتفاع گیاه باشد (Singh, and Ashri, 2007). لذا با افزایش در ارتفاع گیاه تعداد گره‌های تک کپسولی افزایش و چند کپسولی کاهش داشت (جدول ۶). بر اساس مقایسه میانگین نوع بذر در جدول ۶ در بذر تک کپسول، تعداد گره تک کپسول ۱۹ درصد بیشتر از تعداد گره تک کپسول در بذر چند کپسول بود و در بذر چند کپسول تعداد گره چند کپسولی حدود ۱۵ درصد بیشتر از تعداد گره چند کپسولی در بذر تک کپسول بود. نتایج برهمکنش سال در نوع بذر نشان داد که بیشترین تعداد گره تک کپسولی (۴۹/۸ عدد) در سال دوم و از بذر تک کپسول و بیشترین تعداد گره چند کپسولی در سال دوم از بذر چند کپسولی به‌دست آمد با این حال بذر چند کپسولی در سال اول ۱۴/۲ عدد گره چند کپسولی تولید کرد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار نوع بذر چند کپسولی در سال دوم نداشت (جدول ۷). تعداد گره تک کپسولی در سال اول و تعداد گره چند کپسولی در سال دوم بیشتر بود

(جدول ۶) که با نتایج رابطه انواع کپسول و ارتفاع همخوانی داشت. اعمال کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تعداد گره تک کپسول را تولید کرد به‌طوری‌که نسبت به شاهد حدود ۳۵ درصد تعداد گره تک کپسول بیشتری به‌وجود آمد. کمترین تعداد گره چند کپسولی (۱۰/۳ عدد) در تیمار شاهد مشاهده شد و اعمال تیمارهای کود زیستی نیتروکسین، بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر به‌ترتیب ۱۴/۱، ۱۲/۷ و ۱۳/۶ عدد گره چند کپسولی در بوته را تولید کردند (جدول ۸). در سال دوم اعمال کود بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر با مقادیر ۴۲/۷ و ۴۸/۵ بیشترین تعداد گره تک کپسول را در بوته تولید کردند و حداقل تعداد گره تک کپسول در بوته مربوط به سال اول و در دو تیمار شاهد و نیتروکسین بود. در خصوص تعداد گره چند کپسول هر چند تعداد آن‌ها در بوته از ۱۹ عدد بیشتر نبود با این‌حال بیشترین تعداد گره چند کپسول از تیمار نیتروکسین و در سال اول حاصل شد و کمترین تعداد گره چند کپسول در سال دوم و در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۹). به‌دست آمدن بیشترین گره چند کپسولی در تیمار نیتروکسین و در سال اول می‌تواند به علت نقش نیتروکسین در طول دوره رویشی گیاه باشد، یکی از دلایل تاثیر این باکتری‌ها، آزادسازی بیشتر نیتروژن برای گیاه بوده که این عنصر علاوه بر نقش مستقیمی که در تامین اسیدهای امینه، بازهای ازته و بدین‌وسیله پروتئین‌ها و اسید نوکلئیک در گیاه دارد به‌طور غیر مستقیم از طریق راه‌اندازی بسیاری از آنزیم‌های موثر در شکستن رکود جوانه‌ها (تحریک پروتئین فسفاتاز که روی باقی‌مانده‌های دی‌فسفوریلازهای متعدد در پروتئین نیترات ریدکتاز در اثر عوامل ذکر شده دارد سبب تحریک آنزیم‌ها میشود (Taiz and Zaiger, 2002) و سنتز سیتوکنین نقش در رشد و تولید محصول دارد (Haghparast Tanha, 1991). در واقع هر گره برگ کنجد توانایی تولید بیش از یک کپسول در صورت مهیا بودن شرایط را دارد این شرایط آنقدر پیچیده بوده که در یک گیاه حتی در مکان‌های جداگانه بذر چند کپسولی دیده می‌شود و تاییدی بر این مهم می‌باشد (Langham, 2007). علاوه بر این افزایش تعداد گره چند کپسولی در تیمار نیتروکسین می‌تواند به تعداد فیتوکروم نوری که تحریک شده نیز مرتبط باشد یعنی علاوه بر مهیا شدن شرایط تغذیه‌ای، مقدار و کیفیت تابش نوری نیز در تولید گل که منجر به تولید کپسول می‌شود نیز می‌تواند موثر باشد (Lee *et al*., 2002; Mockler *et al*., 1999). نتایج تاثیر سه‌گانه تیمارها نشان داد که کمترین تعداد گره تک کپسول (۵/۴۶ عدد) در سال اول، از تیمار شاهد و از بذر تک کپسول حاصل شد و در سال اول بیشترین مقدار تعداد گره تک کپسول در استفاده از کود زیستی تلفیقی (نیتروکسین+بیوفسفر) در بذر تک کپسول با مقدار ۲۰/۷ عدد به‌دست آمد. در سال دوم در همین نوع بذر تک کپسول بیشترین تعداد گره تک کپسول از تیمار تلفیقی نیتروکسین+بیوفسفر با مقدار ۶۷/۲ حاصل شد. در سال دوم تعداد گره تک کپسول در هر دو نوع بذر بیشتر از ۲۹ عدد در بوته بود. تعداد گره‌های چند کپسول در سال دوم در گیاهان حاصل از بذور چند کپسولی کمتر از ۲۴عدد در هر بوته بود. بیشترین تعداد گره چند کپسول از در سال دوم از بذور چند کپسولی و استفاده از کودهای تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و به مقدار ۲۳/۹ حاصل شد (جدول ۱۱). نتایج مطالعه سجادی نیک و همکاران (Sajadi Nik *et al*., 2011) نشان داد هنگامی که از کود زیستی نیتروکسین در تلقیح بذور کنجد استفاده شد تعداد کپسول به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داشت. در همین ارتباط یساری و پاتوردهان (Yasari and Patwardhan, 2007) اظهار داشتند که ریز جاندارن در خاک از طریق تولید و ترشح مواد تحریک‌کننده رشد، سبب بهبود رشد عمکرد گیاهان می‌شوند.

تعداد و طول شاخه جانبی در بوته

تعداد و طول شاخه جانبی در بوته تحت تاثیر تمامی تیمارهای آزمایشی معنی‌دار شدند (جدول ۴). در سال اول اجرای طرح تعداد و طول شاخه جانبی در بوته بیشتری نسبت به سال دوم حاصل شد (جدول ۵). گیاهان حاصل از بذور چند کپسولی به‌ترتیب حدود ۲۲ و ۷۳ درصد تعداد و طول شاخه جانبی بیشتری از گیاهان حاصل از بذور تک کپسولی تولید کردند (جدول ۶). در سال اول تعداد و طول شاخه جانبی بیشتری نسبت به سال دوم در هر دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول حاصل شد. با این حال طول شاخه جانبی در هر دو سال در بذر چند کپسولی بیشتر از طول ساقه جانبی در بذر تک کپسول بود (جدول ۷). کمترین تعداد شاخه جانبی از شاهد و بیشترین تعداد شاخه جانبی از تیمار کود نیتروکسین (۱/۶۴) و نیز از تیمار کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر (۱/۶۱) حاصل شد. بیشترین طول شاخه جانبی از تیمار کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر (۲۶/۹ سانتی‌متر) حاصل شد و در شاهد کمترین بود (جدول ۸). نتایج حاصل از جدول ۹ نشان داد که در سال دوم استفاده از کودهای زیستی تاثیر مشهودی در تولید شاخه جانبی در گیاه نداشت اما در سال اول تولید تعداد شاخه در بوته نسبت به سال دوم بیشتر بود. بیشترین طول شاخه جانبی از تاثیر کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر و در سال اول با مقدار ۳۲/۲ سانتی‌متر حاصل شد که نسبت به سال دوم از همین تیمار حدود ۱۱ سانتی‌متر طول شاخه جانبی بیشتری داشت (جدول ۹). کمترین تعداد شاخه جانبی از تیمار شاهد و در بذر تک کپسول حاصل شد (جدول ۱۰) که این تیمار نیز کمترین طول شاخه (۲/۹۴ سانتی‌متر) را داشت. کاربرد کود نیتروکسین در بذر چند کپسول بیشترین تعداد شاخه جانبی (۲/۰۱ عدد) را در گیاه تولید کرد با این حال بیشترین طول شاخه جانبی از تاثیر کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در بذر چند کپسول حاصل شد که نسبت به همین تیمار کود زیستی (تلفیقی) در بذر چند کپسول حدود ۳۶ درصد طول شاخه جانبی بیشتری داشت (جدول ۱۰). در سال اول

و در هر دو نوع بذر، هم تعداد شاخه جانبی و هم طول شاخه جانبی در بوته بیشتری نسبت سایر تیمارهای مورد آزمایش به‌دست آمد. در صفت طول شاخه جانبی در تیمارهای کود زیستی و بذر چند کپسول و در سال اول دامنه طول شاخه جانبی بین ۲۵ تا ۳۵ سانتی‌متر قرار داشت در صورتی‌که در سایر تیمارها تنوع زیادی در طول شاخه جانبی مشاهده نشد و شاخه‌های جانبی تا یک سانتی‌متری هم مشاهده گردید. این طول‌ها تقریباً مربوط به بوته‌هایی بود که در آن‌ها تنها یک شاخه جانبی ظهور کرده بود. در سال دوم در هر دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول اعمال تیمارهای کودی زیستی سبب کاهش شدید تعداد شاخه جانبی در بوته شد (جدول ۱۱). به‌طور کلی میانگین افزایش در تعداد و طول شاخه جانبی در تیمارهای کود زیستی برای سال اول بیشتر بود که با افزایش در تعداد گره چند کپسول و عملکرد دانه نیز همراه بود (جدول ۱۱). نتایج مطالعه شاکری و همکاران (Shakeri *et al*., 2013) نشان داد استفاده از کودهای زیستی به‌ویژه نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در بوته در گیاه کنجد شد. در مطالعه حاضر افزایش کودهای زیستی سبب افزایش تعداد شاخه و طول شاخه جانبی در گیاه شد. به نظر می‌رسد در کود نیتروکسین که حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و گونه‌های متعدد *آزوسپیریلیوم* هستند مقدار نتیروزن تثبیت‌شده به‌وسیله آن‌ها تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار در سال می‌رسد (Maleki *et al*., 2011). از طرفی دیگر باکتری‌های موجود در بیوفسفر می‌توانند از طریق تولید آنزیم فسفاتاز در قابل دسترس قرار دادن فسفات‌های نامحلول کمک نموده و از طریق فراهم آوردن شرایط رشدی تعداد شاخه و طول آن‌ها را در گیاه افزایش دهند.

تعداد و وزن خشک برگ در گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنها سال تاثیری بر تعداد برگ در گیاه نداشت (جدول ۴). بوته‌های حاصل از بذر چند کپسول حدود ۲۹ درصد تعداد برگ بیشتری را تولید کردند. تعداد برگ در بوته‌های حاصل از بذور تک کپسول ۳۷/۳ عدد بود (جدول ۶). گیاهان حاصل از بذر چند کپسول تعداد برگ بیشتری تولید کردند که این روند بر وزن خشک برگ آن‌ها نیز تاثیر داشت به‌طوری‌که وزن خشک برگ در بوته آن‌ها ۶/۷۷ گرم بود و از گیاهان حاصل بذر تک کپسول ۳/۳۲ گرم وزن خشک برگ بیشتری را تولید نمودند (جدول ۶). در هر دو سال آزمایش بوته‌های بذر تک کپسول کمترین تعداد برگ را در بوته تولید کردند و در بوته‌های حاصل از بذر چند کپسول تعداد برگ در بوته بیشتر از ۵۱ عدد بود (جدول ۷). وزن خشک برگ در گیاهان حاصل از بذر چند کپسول برای هر دو سال مقدار بیشتری نسبت به تیمار بذر تک کپسول نشان دادند (جدول ۷). بیشترین و کمترین تعداد برگ در بوته به‌ترتیب ۵۲/۲ و ۳۹/۳ عدد از اعمال کود تلفیقی و تیمار شاهد به‌دست آمد. اعمال کودهای زیستی تعداد برگ در بوته بیشتر از ۴۳ عدد در بوته را تولید کردند. برگ‌ها در کنجد به‌عنوان یکی از منابع اصلی (سینک) در پر کردن دانه‌های کنجد و یا به‌طور کلی کپسول‌های کنجد می‌باشد در واقع محل اصلی تامین اسیمیلات لازم برای پرکردن دانه‌ها همین برگ‌ها هستند (Taiz and Zaiger, 2002). درخصوص وزن خشک برگ اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کود زیستی مورد آزمایش مشاهده نشد (جدول ۸). برهمکنش سال در کود زیستی نشان داد، در هر دو سال استفاده از کود زیستی تلفیقی بیشترین تعداد برگ در بوته را تولید کرد (جدول ۹). تنها تیمار شاهد برای هر دو سال اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد برگ در بوته با سایر تیمارها نشان داد (جدول ۹). درخصوص وزن خشک برگ در بوته کمترین آن (۳/۶۳ گرم در بوته) از تیمار شاهد و در سال اول حاصل شد و بیشترین مقدار صفت مذکور از تیمار کود تلفیقی و سال اول (۸/۵۲ گرم برگ در بوته) به‌دست آمد (جدول ۹). اعمال کود زیستی در دو نوع بذر تک کپسول و چند کپسول مقدار برگ تولیدی در بوته را به دو گروه متمایز تقسیم کرد به‌طوری‌که در گیاهان حاصل از بذر تک کپسول کاربرد کودهای زیستی حداقل برگ را در بوته تولید کرد در صورتی‌که در بوته‌های حاصل از بذور چند کپسول تعداد برگ تولیدی در بوته بیشتر از ۵۰ عدد در بوته بود و دامنه تعداد برگ تولیدی در بوته در گیاهان حاصل از بذر تک کپسول و کود زیستی بین ۳۵ تا ۴۰ برگ در بوته قرار داشت، همین روند در وزن خشک برگ نیز مشاهده شد. بیشترین وزن خشک برگ (۷/۱۷ گرم) از تیمار تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در بذر چند کپسول حاصل شد و کمترین مقدار آن از شاهد و بذر تک کپسول (۲/۱۹ گرم در بوته) به‌دست آمد (جدول ۱۰). بیشترین تعداد برگ در بوته در سال اول و در گیاهان حاصل از بذر چند کپسولی و استفاده از کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر با تعداد ۵۷/۵ عدد حاصل شد در سال دوم در تیمار بذر چند کپسول اعمال تمام تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها از لحاظ تعداد برگ تولیدی نشان نداد. از لحاظ وزن خشک برگ تیماری که کمترین تعداد برگ را داشت از کمترین وزن خشک برگ را نیز برخوردار بود (جدول ۱۱). بیشترین مقدار وزن خشک برگ در بوته مشابه تعداد برگ در گیاه و به مقدار ۸/۸۶ گرم در بوته به‌دست آمد (جدول ۱۱). نتایج نشان داد که تلقیح بذور آفتابگردان با باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن دانه و میزان روغن دانه در آفتابگردان شد (Shaukat *et al*., 2006). کومار و همکاران (Kumar *et al*., 2009) اظهار داشتند که علت افزایش رشد بوته‌های کنجد در شرایط مزرعه با کاربرد کود زیستی حاوی *Pseudomonas aeruginisa* ناشی از تولید هورمون IAA، اسید سیانیدریک (HCN)، سیدروفور، حلالیت فسفات‌های غیر آلی و تاثیری که در کاهش جمعیت برخی آفات خاکی (نماتد) بود. به نظر می‌رسد که علت

افزایش وزن خشک برگ را می‌توان به‌ویژگی سنتز مواد تنظیم‌کننده رشد مرتبط دانست (Fathi, 2013).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در نوع بذر بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 7- Means comparisons of interaction year in seed type on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass ($g.m^{-2}$)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)
Y1×S1	85.8 b	20.4 b	10.4 c	9.60 c	2.06 a	8.55 b	37.9 b	3.04 b	680 a	44.9 b	264 b
Y1×S2	85.1 b	30.5 b	16.1 c	14.2 a	2.11 a	29.0 a	53.7 a	7.72 a	714 a	56.9 a	395 a
Y2×S1	119 a	62.4 a	49.8 a	12.6 b	0.200 c	4.15 b	36.8 b	3.87 b	818 a	49.8 ab	274 b
Y2×S2	115 a	48.1 b	32.5 b	15.6 a	0.783 b	18.0 ab	51.5 a	5.82 ab	899 a	50.5 ab	358 a

Y1: سال اول و Y2: سال دوم؛ S1: بذر تک کپسول و S2: بذر چند کپسول

Y1: Firth year and Y2: Second year; S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 8- Means comparisons of biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass ($g.m^{-2}$)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)
BF0	89.1 c	33.3 a	23.0 b	10.3 b	0.717 c	8.13 b	39.3 b	4.59 a	438 b	43.1 b	300 a
BF1	101 b	39.6 a	25.5 b	14.1 a	1.64 a	12.7 ab	43.2 ab	4.78 a	564 a	50.4 ab	333a
BF2	106 ab	40.3 a	27.6 b	12.7 b	1.18 b	11.9 ab	45.3 ab	4.57 a	550 a	48.6 ab	310 a
BF3	109 a	49.2 a	35.7 a	13.6 ab	1.61 a	26.9 a	52.2 a	6.51 a	579 a	57.8 a	349 a

BF0: شاهد، BF1: نیتروکسین، BF2: بیوفسفر، BF3: ترکیب مساوی از نیتروکسین و بیوفسفر

BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor and BF3: Equal mixture of nitroxin+biophpsphor.

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند

Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test (p≤0.05)

زیست‌توده

وزن زیست‌توده کنجد تحت تاثیر سال، نوع بذر، کود زیستی، برهمکنش کود زیستی در نوع بذر و سال در نوع بذر در کود زیستی معنی‌دار شد (جدول ۴). سال دوم نسبت به سال اول حدود ۱۷ درصد وزن زیست‌توده در متر مربع بیشتری را تولید کرد (جدول ۵). گیاهان حاصل از بذر چند کپسولی با مقدار ۵۶۲ گرم در متر مربع حدود ۹ درصد نسبت به گیاهان حاصل از بذر تک کپسول وزن زیست‌توده بیشتری را تولید کردند (جدول ۶). هرچند سال دوم وزن زیست‌توده بیشتری را نسبت به سال اول تولید کرد اما از لحاظ آماری این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۷). بر اساس جدول ۸ استفاده از کودهای زیستی سبب افزایش معنی‌دار وزن زیست‌توده در متر مربع شد، با این حال بین کودهای زیستی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۱۰ نشان داد که از کاربرد کود زیستی تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر در بذر چند کپسول بیشترین وزن زیست‌توده (۶۲۷ گرم در مترمربع) به‌دست آمد که نسبت به اعمال همین تیمار در بذر تک کپسول حدود ۱۸ درصد بیشتر بود اما نسبت به شاهد در همین بذر چند کپسولی حدود ۲۲ درصد افزایش نشان داد. در بذر تک کپسول هم تیمار کود تلفیقی بیشترین مقدار وزن زیست‌توده را داشت (جدول ۱۰). نتایج برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که کاربرد کود تلفیقی در هر دو نوع بذر تک و چند کپسولی وزن زیست‌توده تولید شده در بالاترین گروه آماری (a) قرار داشت. آنچه قابل تامل بود این است که در تمامی تیمارهای کودی در سال دوم مقادیر زیست‌توده تولیدی از ۸۶۰ گرم در متر مربع بیشتر بود و بیشترین وزن زیست‌توده در سال دوم و از گیاه حاصل از بذر چند کپسول و استفاده از کود زیستی تلفیقی به‌دست آمد و کمترین مقدار وزن خشک زیست‌توده از شاهد در سال اول و در گیاه حاصل از بذر

تک کپسول حاصل شد در تمامی تیمارها زمانی‌که هیچ‌گونه کود زیستی استفاده نشد وزن خشک زیست‌توده در کمترین مقدار خود قرار داشت (جدول ۱۱). نتایج مطالعه یساری و پاتوردهان (Yasari and Patwardhan, 2007) نیز نشان داد که تلقیح بذور کلزا با باکتری‌های *ازتوباکتر* (*Azotobzcter*) و *آزسپریلیوم* (*Azospirillium*) در ۱۸۲ روز بعد از کشت، وزن خشک اندام هوایی را به ۴۹۹ گرم در متر مربع رسانید که نسبت به شاهد حدود ۱۴ درصد افزایش داشت. در تحقیقی دیگر سجادی نیک و یدوی (Sajadi Nik and Yadavi, 2013) گزارش کردند که تلقیح بذور کنجد با کود زیستی نیتروکسین سبب افزایش تجمع ماده خشک به میزان ۱۲۲۵/۷۷ گرم در متر مربع شد که نسبت به عدم تلقیح حدود ۱۹ درصد افزایش داشت. به نظر می‌رسد کودهای زیستی یا به‌صورت مستقیم از طریق در دسترس قرار دادن منابع غذایی (نیتروزن، پتاسیم، فسفر و عناصر ریز مغذیی ضروری) و یا به‌صورت غیر مستقیم از طریق کاهش اثرات برخی آفات خاکی (Kumar *et al*., 2009) سبب افزایش مکان‌های رشد در گیاه شده و افزایش زیست‌توده را به دنبال داشته است (Bhardwaj *et al*., 2014).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹٦ و ۹۸-۹۷)

Table 9- Means comparisons of interaction year in biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass ($g.m^{-2}$)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)
Y1×BF0	70.6 d	22.6 c	9.76 d	12.9 abc	1.03 b	13.5 ab	40.0 b	3.63 b	767a	43.6 b	281 b
Y1×BF1	80.5 d	29.1 c	10.0 d	19.1 a	2.69 a	14.6 ab	43.3 ab	4.58 ab	743 a	55.6 ab	308 ab
Y1×BF2	93.2 c	24.9 c	12.5 d	12.4 abc	2.20 a	13.6 ab	43.5 ab	4.63 ab	715 a	44.8 ab	285 b
Y1×BF3	97.2 bc	38.6 bc	22.9 c	15.7 ab	2.42 a	32.2 a	56.3 a	8.52 a	737 a	59.4 a	416 a
Y2×BF0	107 b	44.0 b	36.3 b	7.73 c	0.401 cd	10.2 b	41.9 b	4.55 ab	780 a	42.7 b	291 b
Y2×BF1	121 a	46.2 b	37.0 b	9.20 bc	0.600 bcd	10.8 ab	43.1 ab	4.97 ab	886 a	45.3 ab	360 ab
Y2×BF2	119 a	51.8 ab	42.7 ab	9.10 bc	0.166 d	12.5 b	44.9 ab	5.34 ab	885 a	52.3 ab	333 ab
Y2×BF3	122 a	60.1 a	48.5 a	11.6 abc	0.800 bc	20.6 ab	48.0 ab	4.51 ab	922 a	56.3 ab	306 ab

Y1: سال اول و Y2: سال دوم؛ BF0: شاهد، BF1: نیتروکسین، BF2: بیوفسفر، BF3: ترکیب مساوی از نیتروکسین و بیوفسفر

Y1: firth year and Y2: second year; BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor, BF3: Equal mixture of nitroxin+biophpsphor.

تعداد کپسول در گیاه

تمامی عوامل آزمایشی بر تعداد کپسول در بوته تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). در سال دوم نسبت به سال اول دو کپسول بیشتر تولید شد (جدول ۵). گیاه حاصل از بذر چند کپسولی با ۵۲/۷ عدد کپسول در بوته نسبت به گیاه حاصل از بذر تک کپسول حدود ۱۰ درصد تعداد کپسول بیشتری داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد در کنجد بر اساس یافته‌های تحقیقاتی وراثت‌پذیری بالایی برای جذب خالص (NAR)، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول بیشتر (CGR) ارتفاع و عملکرد دانه گزارش شده است (Singh *et al*., 2000) که شاید یکی از دلایل افزایش تعداد کپسول در بذر چند کپسولی تولید مواد فتوسنتزی بیشتر در برگ آن‌ها در مقایسه با گیاهان حاصل از بذر تک کپسول باشد. نتایج برهمکنش سال در نوع بذر نشان داد که در هر دو سال گیاهان حاصل از بذر چند کپسولی نسبت به گیاهان حاصل از بذر تک کپسول تعداد کپسول بیشتری در بوته تولید کردند. بیشترین تعداد کپسول در بوته در بذر چند کپسول و در سال اول به‌دست آمد و کمترین آن در همان سال اول از بذر تک کپسول دیده شد (جدول ۷). استفاده از تیمار کود تلفیقی با تولید ۵۷/۸ عدد کپسول در بوته بیشترین تعداد کپسول در بوته را داشت و کمترین مقدار صفت فوق از تیمار شاهد (۴۳/۱) به‌دست آمد (جدول ۸). نتایج برهمکنش نوع کود در سال نشان داد تیماری که در آن از کود تلفیقی استفاده شده بود برای هر دو سال بیشترین تعداد کپسول در بوته را داشت که نسبت به تیمار بدون کود در سال اول و سال دوم به‌ترتیب حدود ۲۶ و ۲۴ درصد تعداد کپسول در بوته بیشتری داشت (جدول ۹). نتایج جدول ۱۰ نشان داد که بذر چند کپسول واکنش مثبتی به تعداد کپسول در بوته نشان داده است به‌طوری‌که در نوع بذر چند کپسول در اثر کاربرد کود زیستی تعداد کپسول در بوته بیشتر از ۵۷ عدد بود حتی در شاهد تعداد کپسول در این گروه ۴۵/۷ عدد بود در صورتی‌که تعداد کپسول در بوته در نوع بذر تک کپسول و کودهای زیستی از ۴۱ کپسول در بوته بیشتر نشد (جدول ۱۰). نتایج برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که در سال دوم در هر دو نوع بذر تک و چند کپسول و استفاده از تیمارهای کود زیستی تنوعی در تعداد کپسول در بوته مشاهده شد با این حال بیشترین تعداد کپسول در بوته

مربوط به تیمار بذر تک کپسول و استفاده از کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در سال اول (۷۴/۱) و کمترین تعداد کپسول در بوته از تیمار شاهد و بذر تک کپسول در سال اول به‌دست آمد (جدول ۱۱). در مطالعه حسن‌پور و همکاران (Hasanpour *et al*., 2011) در بررسی واکنش عملکرد کنجد به کاربرد نیتروژن و کود زیستی سوپرنیتروپلاس نتیجه گرفتند که با مصرف کود بیولوژیک درصد باروری گل و تعداد کپسول در رقم ورامین افزایش یافت. به نظر می‌رسد کودهای زیستی از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد سبب افزایش سطح فتوسنتزکننده در گیاه شده و در نتیجه باعث افزایش آسیمیلات لازم برای باروری گل‌ها فراهم شده است. در همین رابطه جهان و همکاران (Jahan *et al*., 2012) گزارش کردند که در کنجد کارایی مصرف نور در کاربرد کودهای زیستی بیوسولفور و نیتروکسین ۴۶٪ بیشتر از کاربرد بیوفسفر و تیمار شاهد بود و این می‌تواند به‌عنوان یکی از دلایل افزایش مواد فتوسنتزی در باروری گل‌ها مورد توجه قرار گیرد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه در متر مربع در سال دوم نسبت به سال اول حدود ۴ درصد افزایش داشت، عملکرد دانه در سال اول ۳۱۶ گرم در متر مربع بود (جدول ۵). گیاهان حاصل از بذر چند کپسول (۳۷۶ گرم در متر مربع) نسبت به گیاهان حاصل از بذر تک کپسول حدود ۲۸ درصد عملکرد دانه در متر مربع بیشتری داشتند (جدول ۶). در هر دو سال گیاهان حاصل از بذر چند کپسول به‌ترتیب ۳۹۵ و ۳۵۸ گرم در متر مربع عملکرد تولید کردند که نسبت به بذر تک کپسولی در هر دو سال بیشتر بود (جدول ۷). نتایج برهمکنش کود زیستی در سال (جدول ۹) نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه در متر مربع به‌ترتیب با مقادیر ۴۱۶ و ۲۸۱ گرم در متر مربع از تاثیر کود تلفیقی در سال اول و تیمار شاهد در همان سال به‌دست آمد. در سال دوم تاثیر کودهای زیستی بر وزن دانه در متر مربع از نوسان کمتری در بین تیمارها برخوردار بود (جدول ۹) که نشان‌دهنده‌ی سازگاری زیستی بیشتر ریزجانداران با شرایط محیطی به کندی و با گذشت زمان است (Mehdizadeh *et al*., 2015). تاثیر کودهای زیستی بر بذر چند کپسولی سبب افزایش عملکرد دانه در متر مربع شد (جدول ۱۰). بیشترین عملکرد دانه از تاثیر کود تلفیقی در بذر چند کپسولی حاصل شد که نسبت به تاثیر همین تیمار کودی در بذر تک کپسول حدود ۲۰ درصد افزایش داشت. کمترین عملکرد دانه در متر مربع از بذر تک کپسول و در شاهد (عدم استفاده از کود) و با مقدار ۲۴۱ گرم دانه در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع بذر در کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 10- Means comparisons of interaction seed type in biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست توده Biomass (g.m^{-2})	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield (g.m^{-2})
S1×BF0	87.7 d	34.9 bc	25.5 b	9.46 bc	1.11 d	2.94 c	35.2 b	2.19 c	398d	37.6 c	241 c
S1×BF1	100 bc	36.4 b	23.6 b	12.8 bc	1.27 c	3.49 bc	33.2 b	2.79 bc	529 abc	41.7 c	247 c
S1×BF2	106 ab	36.9 b	27.3 b	9.66 bc	1.12 c	5.36 bc	29.7 b	2.93 abc	510 bc	39.3 c	269 bc
S1×BF3	116 a	65.2 a	44.0 a	21.2 a	1.82 ab	20.9 ab	40.3 b	5.85 abc	532 abc	40.7 c	318 bc
S2×BF0	90.6 cd	31.6 c	20.5 b	11.1 bc	1.13 c	22.9 ab	51.4 a	6.25 abc	492 cd	45.7 bc	350 bc
S2×BF1	101 bc	36.8 b	21.3 b	15.5 ab	2.01 a	21.9 ab	53.1 a	6.76 ab	599 ab	59.2 ab	362 ab
S2×BF2	107 ab	39.7 b	27.9 b	11.8 ab	1.24 c	16.2 abc	52.7 a	6.90 ab	608 ab	57.8 ab	377 ab
S2×BF3	102 b	43.8 b	27.5 b	16.3 ab	1.40 bc	32.9 a	63.1 a	7.17 a	627 a	60.0 a	397 a

S1: بذر تک کپسول و S2: بذر چند کپسول؛ BF0: شاهد، BF1: نیتروکسین، BF2: بیوفسفر، BF3: ترکیب مساوی از نیتروکسین و بیوفسفر

S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed; BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor, BF3: Equal mixture of nitroxin+biophpsphor.

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند

Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test (p≤0.05)

نتایج برهمکنش سه‌گانه تیمارها نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در استفاده از بذر چند کپسولی و کاربرد کود تلفیقی نیتروکسین و بیوفسفر در سال اول به‌دست آمد. در هر دو سال در بذور چند کپسول استفاده از کودهای زیستی عملکرد دانه در متر مربع بیشتری نسبت به سایر تیمارها تولید نمود. دامنه تغییرات عملکرد دانه بین ۲۰۹ تا ۴۲۶ گرم دانه در متر مربع بین تیمارها متفاوت بود (جدول ۱۱). نتایج مطالعه سجادی نیک و همکاران (Sajadi Nick *et al*., 2011) نشان داد که کاربرد کود نیتروکسین سبب افزایش تعداد بذر در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کنجد شده است. در مطالعه دیگر شاکری و همکاران (Shakeri *et*

al., 2013) گزارش کردندکه کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و کود زیستی نیتروکسین بر تمامی صفات به‌جز درصد روغن و شاخص برداشت در کنجد تاثیر معنی‌داری داشت. نتایج مطالعه پائول و ساویتری (Paul and Savithri, 2003) نیز نشان داد که عملکرد کنجد تحت تاثیر کودزیستی حاوی *آزوسپیریلیوم* افزایش معنی‌دار داشت. نتایج پژوهش حاضر با تحقیقات نامبردگان مطابقت داشت. به نظر می‌رسد کودهای زیستی با تاثیر مثبت خود بر افزایش ارتفاع گیاه، تعداد و وزن خشک برگ سبب افزایش منابع تولید آسیمیلات فتوسنتزی را فراهم آورده که منجر به افزایش تعداد کپسول در بوته و در نتیجه عملکرد شده است.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در نوع بذر در کود زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در گیاه کنجد تحت تاثیر کودهای زیستی طی دو سال زراعی (۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷)

Table 11- Means comparisons of interaction effects of year in seed type in biological fertilizer on some morphological and seed yield of sesame affected by biofertilizers during two growing seasons 2017-2018 and 2018-2019

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد گره در گیاه Number of node per plant	تعداد گره تک کپسول One capsule node	تعداد گره چند کپسول Multiple capsule node	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول شاخه جانبی Length of branch (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	زیست‌توده Biomass ($g.m^{-2}$)	تعداد کپسول در گیاه Number capsule per plant	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)
Y1×S1×BF0	67.9 g	15.8 e	5.46 i	4.66 d	0.602 fgh	1.88 c	34.0 cdef	2.02 bcd	357 c	23.7 e	231 bc
Y1×S1×BF1	79.1 ge	22.1 e	8.00 hi	14.5 bcd	2.28 b	1.45 c	33.1 ef	1.50 cd	498 c	41.5 de	224 bc
Y1×S1×BF2	95.0 def	17.2 e	7.60 hi	8.53 bcd	2.24 b	1.01 c	29.3 f	0.442 d	384 c	31.6 e	192 c
Y1×S1×BF3	101 cde	29.3 de	20.7 efgh	8.66 bcd	3.11 a	30.8 ab	55.2 ab	8.19 a	817 a	74.1 a	407 a
Y1×S2×BF0	73.3 g	41.2 c	11.5 ghi	17.1 ab	1.46 cde	25.3 ab	52.1 abcde	7.24 abc	367 c	44.1 de	381 ab
Y1×S2×BF1	81.9 fg	28.6 de	10.5 ghi	23.2 a	3.10 a	27.7 ab	53.5 abc	7.66 ab	628 b	69.7 ab	393 a
Y1×S2×BF2	91.5 ef	33.7 d	17.4 efgh	16.3 abc	2.15 bc	27.3 ab	51.7 abcde	7.14 abc	953 a	58.1 abcd	378 ab
Y1×S2×BF3	93.5 def	32.8 d	25.2 defg	7.60 bcd	1.73 bcd	35.5 a	57.5 a	8.86 a	964 a	55.1 abcd	426 a
Y2×S1×BF0	107 bcde	53.3 bc	43.1 bc	10.2 bcd	0.065 h	1.01 c	36.4 bcdef	3.85 abcd	374 c	43.1 de	308 abc
Y2×S1×BF1	122 ab	52.8 bc	41.8 bc	11.0 bcd	0.266 gh	5.53 ab	33.4 def	4.08 abcd	657 b	41.8 de	271 abc
Y2×S1×BF2	116 abc	65.5 b	47.0 b	10.8 bcd	0.058 h	1.01 c	30.1 f	4.03 abcd	853 a	47.0 cde	290 abc
Y2×S1×BF3	132 a	85.7 a	67.2 a	18.5 ab	0.533 fgh	11.0 ab	47.3 abcdef	3.52 abcd	542 bc	67.2 abc	229 bc
Y2×S2×BF0	107 bcd	34.7 d	29.5 cdef	5.20 cd	0.800 efg	20.5 ab	50.8 abcde	5.26 abcd	366 c	42.3 de	209 c
Y2×S2×BF1	121 ab	39.5 cd	32.2 cde	7.33 bcd	0.933 efg	16.0 ab	52.8 abcd	5.87 abcd	880 a	48.7 bcde	311 abc
Y2×S2×BF2	122 ab	45.8 c	38.4 bcd	7.40 bcd	0.333 fgh	5.13 ab	53.7 ab	6.66 abc	861 a	45.6 cde	334 ab
Y2×S2×BF3	111 bc	53.7 bc	29.8 cdef	23.9 a	1.06 def	30.2 ab	48.7 abcdef	5.49 abcd	910 a	57.6 abcd	376 abc

Y1: سال اول و Y2: سال دوم؛ S1: بذر تک کپسول و S2: بذر چند کپسول؛ BF0: شاهد، BF1: نیتروکسین، BF2: بیوفسفر، BF3: ترکیب مساوی از نیتروکسین و بیوفسفر

Y1: Firth year and Y2: Second year; S1: One capsule seed and S2: Multiple capsule seed; BF0: Control, BF1: Nitroxin, BF2: Biophosphor, BF3: Equal mixture of nitroxin+biophpsphor.

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترکند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند

Means followed by the same letter are not significantly different based on LSR test ($p \leq 0.05$)

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده توام از کودهای زیستی حاوی *ازتوباکتر، آزوسپیریلیوم، باسیلوس و پسودوموناس* تاثیر معنی‌دار و مثبتی بر ارتفاع گیاه، تعداد و وزن خشک برگ، وزن زیست‌توده، تعداد گره چند کپسول و تعداد کپسول داشت که سبب افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه کنجد شد. به‌علاوه بذر چندکپسولی نسبت به تک کپسولی واکنش مثبت و بهتری به استفاده از کودهای زیستی نشان داد. همچنین در بین کودهای زیستی نیز مصرف تلفیقی و متعادل از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و انحلال‌دهنده‌های فسفات نامحلول و پس از آن کود نیتروکسین بر افزایش عملکرد کنجد در طولانی مدت تاثیر بیشتری نشان داشت. لذا توصیه می‌گردد برای افزایش عملکرد کنجد از تلقیح این باکتری‌ها هنگام کاشت و یک مرحله محلول‌پاشی در اواسط گلدهی استفاده گردد. علاوه بر آن به دلیل سازگاری زیستی کند این ریزجانداران با شرایط خاک و محیط ریزوسفر، استفاده از باکتری‌ها در بیش از یک مرتبه کشت توصیه می‌گردد.

References

1. Alami-Milani, M., Amini, R., and Bandehagh, A. 2014. Effect of bio-fertilizers and combination with chemical fertilizers on grain yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agriculture Science and Suatainable Production 15-29. (In Persian with English abstract).
2. Antoun, H., and Prevost, D. 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In: Siddiqui ZA (Eds.) PGPR: Biocontrol and Biofertilization, Springer, The Netherlands pp. 1-39.
3. Babaei Abarghoei, Gh. 2004. Effect of different nitrogen levels and plant density on two sesame cultivars. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University. Pages: 81. (in Persian with English abstract).
4. Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., and Tuteja, N. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. Microbiology Cell Fact 13: 66.
5. Bijani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M. R., Soleimani, S., and Latifi, M. 2015. Effects of nitrogen and biological fertilizer on yield, oil and protein content of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Oil Plants Production 1 (2): 67-78. (in Persian with English abstract).
6. Chen, Y. P., Rekha, P. D., Arun, A. B., Shen, F. T., Lai, W. A., and Young. C. C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology 34: 33-41.
7. El-Yazeid, A. A., Abou-Aly, H. E., Mady, M. A., and Moussa, S. A. M. 2007. Enhancing growth, productivity and quality of squash plants using phosphate dissolving microorganisms (bio phosphor) combined with boron foliar spray. Research Journal of Agriculture and Biological Science 3 (4): 274-286.
8. Food and Agriculture Organization (FAO). 2017. FAOSTAT Database. Available at Web site http://www.fao.org/faostat /en/#data/QC (Accessed: 31 December 2017).
9. Fathi, A. 2013. Effect nitrogen and phosphate biologic fertilizer on morphology and physiology traits of corn in Dare Shar city condition. MSc thesis in agronomy. Islamic Azad University of Brojerd. (in Persian with English abstract).
10. Haghparast Tanha, M. R. 1991. Plant Nutrition and Methabolism. Rasht Unit Islamic Azad University Publisher. 527 pages. (Translation in Persian).
11. Hasanpour, R., Pirdashti, H., Esmaili, M. A., and Abbasian, A. 2011. Response of yield and yield components of three sesame cultivars to combined nitrogen application and supernitroplast biological fertilizer. Journal of Agroecology 3 (1): 9-16. (in Persian with English abstract).
12. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). 2019. Meteorological Yearbook. http://irimo.ir/far/wd/720- #report_builder_form. (in Persian).
13. Jahan, M., Amiri, M. B., and Ahiaei, H. R. 2012. Nutrient uptake and utilization efficiency by biological fertilizers in a low input farming system. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2): 435-447. (in Persian with English abstract).
14. Jashankar, S., and Wahab, K. 2004.Effect of integrated nutrient management on the growth, yield components and yield of Sesame. Department of Agronomy, Annamalai University, Annamalainagar, India, 602-608.
15. Kang, C. W., Lee, J. I., and Son, E. R. 1985. Studies on the flowering and maturity in sesame (*Sesamum indicum* L.) III. Growth of capsule and grain by different plant types. Korean Journal Crop Science 30 (2): 158-164.
16. Kennedy, M. J., Reader, S. L., and Swierczynski, L. M. 1994. Preservation records of micro-organisms: evidence of the tenacity of life. Microbiology UK 140: 2513-2529.
17. Kumar, T., Wahla, V., Pandey, P., Dubey, R. C., and Maheshwari, D. K. 2009. Rizosphere competent *Pseudomonas aeruginosa* in the management of *Heterodera cajani* on sesame. World Journal Microbiology Biotechnology 25: 277-285.
18. Kumar Jha, C., and Saraf, M. 2015. Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): a review. E3 Journal of Agricultural Research and Development 5 (2): 0108-0119.

19. Langham, D. R. 2007. Phenology of sesame.Issues in new crops and new uses. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA.
20. Lee, S. W., Kang, C. W., Kim, D. H., Shim, K. B., and Seong, N. S. 2002. Growth characteristics as affected by polyethylene film-mulching in sesame. Korian Journal Crop Science 47: 269-272.
21. Mahmoud Zadeh, M., Rasouli Sadaghiyani, M. H. and Asghari Lajayer, H. 2015. Effect of PGPR Bacteria and Mycorrhizal Arboscolar Fungi on the morphological characteristics and concentration of Macro nutrients on pepper mint (*Mentha piperita* L.) medicinal plant in green hous condition. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 6 (24): 155-167.
22. Malakoti, M. J., Baghori, A., and Khni, M. R. 2001. Quality control of phosphate fertilizers undeniable necessity in achieving sustainable Agriculture. Journal of Soil and Water Research Institution 12: 6-11. (in Persian).
23. Makvandi, A., Alavi Fazel, M., and Lack, S. 2015. Effect of biological and chemical fertilizers on yield and yield components of some Maize hybrids in south west of Iran (Shoushtar Region). Journal of Crop Nutrition Science 1 (1): 45-55.
24. Malik, M. A., Farrukh-Saleem, M., Cheema, M. A., and Ahmed, S. 2003. Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) under varying planting patterns. International Journal of Agriculture and Biology 4: 490-492.
25. Maleki, H., Bazdari, H. R., Lotfi, and Tahmasebi, A. 2011. Effect of biologic fertilizer Azetobacter and different level nitrogen fertilizer on on yield and yield component of three wheat cultivars. Journal of Crop Ecophysiology and Weeds 4 (16): 121-132. (in Persian).
26. Mehdizadeh, M., Ezadi, E., Naseri, M. T., and Rastgo, M. 2015. Influence of Different Organic Fertilizers on Metribuzin Persistence in Soil under Controlled Conditions. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 108: 132-139.
27. Mockler, T. C., Guo, H., Yang, H., Duong, H., and Lin, C. 1999. Antagonistic actions of Arabidopsis cryptochromes and phytochrome B in the regulation of floral induction. Development 126: 2073-2082.
28. Naghdi badi, H. A., Lotfi zadeh, M., Ghavami, N., Mehrafarin, A., and Khavazi, K. 2013. Response yield and quality of the herb valerian to application of biological and chemical fertilizers phosphorus. Journal of Medicinal Plant 12 (2): 25-38.
29. Nezami, A., FazeliKakhki, S. F., Zarghani, H., Shabahang, J., and Gandomzadeh, M. R. 2014. Preliminary study on yield and yield components of some common sesame (*Sesamum indicum* L.) ecotypes in Khorasan Province. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (2): 189-195. (in Persian).
30. Paul, K., and Savithri, E. 2003. Effect of biofertilizers as perfected chemical fertilization for sesame (*Sesamum indicum* L.) grown summer rice fallow. Journal of Tropical Agriculture 41: 47-49.
31. Sajadi Nik, R., Yadavi, R., Baluchi, H. R., and Farajee, H. 2011. Effect of Chemical (Urea), Organic (Vermicompost) and Biological (Nitroxin) Fertilizers on Quantity and Quality Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). Sustainable Agriculture and Production Science 21 (2): 87-101. (in Persian with English abstract).
32. Sajadi Nik, R., and Yadavi, R. 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indexes, phonological stages and grain yield of Sesame. Electronical Journal of Crop Production 6 (2): 73-99. (in Persian with English abstract).
33. Saleh Rastin, N. 2001. Biological fertilizers and their role in achieving sustainable agriculture, especial issue in biologic fertilizer. Journal of Soil and Water Science 65-67. (in Persian).
34. Shaukat, K., Afrasayad, S., and Hasman, S. 2006. Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. Journal of Agricultural Research 1: 573-581.
35. Shakeri, A., Amini Dehghi, M., Tabatabaei, S. H., and Modars Thani, S. H. 2013. Effect Chemical and biological fertilizer on yield and yield component, otl and protein percentage in sesame cultivars. Sustainable Agriculture and Production Science 22 (1): 72-82. (in Persian with English abstract).
36. Singh, H. C., Singh, S. K., and Nagaich, V. P. 2000. Association of characters for some physiological components related to seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). Annals of Agriculture Research 21: 238-241.
37. Singh, J. R., and Ashri, A. 2007. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Oilseed crop 4 (8): 231-278. CRC Press Taylor & Francis Group.
38. Singh, J. S., Pandey, V. C., and Singh, D. P. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainableagriculture and environmental development. Agriculture, Ecosystems and Environment 140: 339-353.
39. Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Sinauer Associates; 3 edition. 690 pages.
40. Weiss, E. A. 2000. Oilseed crops, 2nd edn. Oxford, Blackwell Science 131-164.
41. Yasari, E., and Patwardhan, M. 2007. Effects of Azotobacter and Azospirillum Inoculants and Chemical Fertilizers on Growth and Productivity of Canola (*Brassica napus* L.). Asian Journal of Plant Sciences 6 (1): 77-82.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 279-295

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۲۹۵-۲۷۹

Evaluation of Plant Growth Bacteria (PGPR) on Number of node Leaves and Capsules in Sesame Plant under Field Condition

S. F. Fazeli Kakhki[1*], M. Eskandari[2], J. Daneshian[3], S. Anahid[4]

Received: 25-01-2020
Accepted: 23-05-2020

Introduction

Soil bacteria plays an important role in bio-geochemical cycles that cause soil ecosystem dynamics to return nutrients to life cycles. In recent days, these organisms can serve as complementary or, in some cases, alternative fertilizers, to maintain the sustainability of the agricultural ecosystem. On the other hand, the production of high-yielding cultivars has increased the consumption of agricultural inputs, especially fertilizers, which has caused a crisis of environmental pollution. Bacteria are soil microorganisms that are involved in the nutrient cycle of the soil, can improve plant growth, and are known as growth promoting bacteria (PGPRs). Approximately two to five percent of root-borne bacteria are in the group of growth-promoting bacteria. These bacteria improve plant growth in a variety of ways, including nitrogen fixation, synthesis and production of iron-complex ingsiderophore, production of plant hormones, production of antibiotics and fungicide compounds. Soil has a wide range of organic phosphate sources that must be converted to its inorganic form by enzymes such as phosphatase, phytase and phosphonostat, and bacteria in the *Bacillus* and *Pseudomonas* groups can be produced by the production of acid phosphatases that dissolve phosphates to help absorb them by plant. Another group of bacteria such as *Azotobacter* and *Azospirillum* have the ability to stabilize nitrogen. Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the oldest oilseed plants and has been named as the queen of oilseed plants and compatible with arid and semi-arid regions. Lowing sesame yield per unit area necessity to exerted agronomic management practice. The number of capsules is the main components of yield that has highly correlated with it. The aim of this study was to investigate the effect of biofertilizers on number of capsules per node of leaves sesame plant under field conditions.

Materials and Methods

An experiment was conducted as factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications at Mashhad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center during two growing seasons (2017-2018 and 2018-2019). The first factors were: seeds single capsule and multi-capsule seed types and second factors were four Biofertilizers: 1) Nitroxin® (containing *Azotobacter* and *Azospirillum* bacteria), 2) Biophosphorus® (containing phosphatase-solubilizing bacteria of genus *Bacillus* and *Pseudomonas*), 3) Equal mixture of Nitroxin and biophosphorus and 4) control. At planting time, seeds were inoculated with biological fertilizers by standard method, away from direct light and foliar spraying was done in 50% reproductive stage with the bio fertilizer treatments. The morphological traits (plant height, number and length of lateral branches, number and dry weight of leaves, number of nodes, number of capsules, number of single and multiple capsules nodes were measure per plant and biomass and seed yield were measured per unit area. Data was analyzed using MSTAT-C and means was comparison with LSR at the 5% probability level.

Results and Discussion

Application of biofertilizers increased plant height by 11 to 19.9 cm compared to no fertilizer treatment (89.1 cm). In the second year, the number of nodes was about 43% higher than the first year. Triple interaction treatments showed that in the second year and in single capsule seeds the application of nitroxin and biophosphorus fertilizer had the highest number of nodes (85.7) and the lowest amount of it was observed in single seed capsule plants in the first year. The highest number of single capsule nodes was obtain in the application of biofertilizer (nitroxin+ biophosphorus) in single capsule seeds. In the second year, the number of single capsule nodes in both seed types was more than 29 per plant. In the second year, the highest number of multi-capsule nodes was recorded from multi-capsule seeds with use of nitroxin and biophosphorus combination fertilizers. Interaction between treatments of seed type and biofertilizer results showed that plant was growth

1- Assistant Professor of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
2- Soil and Water researcher of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
3- Professor of Oilseed Crop Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
4- Physiology expert of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: sf_fazeli@yahoo.com)

from multi-capsule seed had a positive reaction to biofertilizer so that in multiple seed type the number of capsule per plant was more than 57 in application of biofertilizer. Both in the first and second year, in the multiple seed capsule type, the use of biofertilizers produced more grain yield per square meter than other treatments.

Conclusions

The results of this study showed that consuming of biofertilizers together that containing *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* and *Pseudomonas* had a positive significant effect on the plant height, number of capsules per node leaf, biomass and number of capsule that lead to increase of seed yield in sesame plant. Therefore, it is recommended that seeds inoculate with these bacteria in sowing time and applying one foliar spraying in mid-flowering time lead to enhance sesame yield.

Keywords: Biomass, Biophosphour, Leaf node, Nitroxin, Seed yield